

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-095121

(43)Date of publication of application : 16.04.1993

(51)Int.Cl.

H01L 29/804

H01L 21/20

H01L 29/203

H01L 29/66

(21)Application number : 03-253606

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 01.10.1991

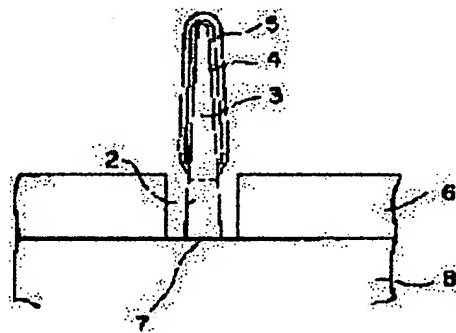
(72)Inventor : IMAMURA YOSHIHIRO
KADOTA YOSHIAKI

(54) QUANTUM FINE LINE STRUCTURE AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PURPOSE: To manufacture a structure which is a needle crystal whose grow crystal has an extremely fine shape and which shows one-dimensional characteristics with the crystal itself in the state of as-grown.

CONSTITUTION: A quantum fine line structure is a needle semiconductor crystal which is formed epitaxially on a semiconductor substrate crystal 8, has a hetero junction structure which consists of the crystal 3 whose central part is formed of the needle crystal and of crystals 4, 5 which form a peripheral part enclosing it concentrically, and a value of band energy in a central part is smaller than a value of band energy in a peripheral part and carrier concentration of a crystal at the central part is smaller than carrier concentration of the crystal 5 in an outermost peripheral part.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-95121

(43)公開日 平成5年(1993)4月16日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

F I

H01L 29/804

21/20

9171-4M

29/203

7377-4M

29/66

7377-4M

7739-4M

H01L 29/80

A

審査請求 未請求 請求項の数5 (全7頁)

(21)出願番号

特願平3-253606

(22)出願日

平成3年(1991)10月1日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 今村 義宏

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 門田 好晃

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

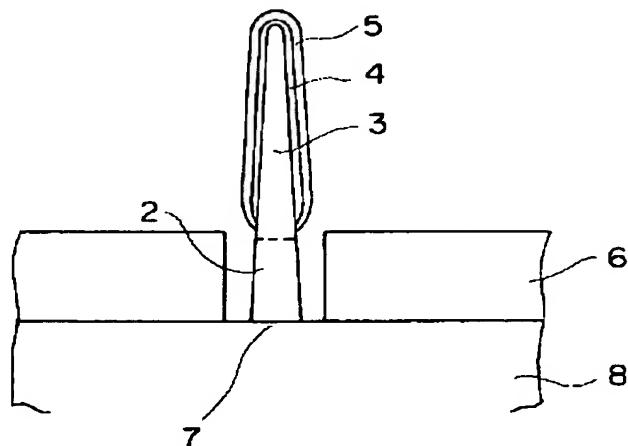
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】量子細線構造およびその作製方法

(57)【要約】

【目的】 成長した結晶が極めて細い形態をもつ針状結晶であって、その結晶自体がas-grownの状態、一次元的性質を示す構造を作製する。

【構成】 量子細線構造は半導体基板結晶8上にエピタキシャル成長させた針状の半導体結晶であって、針状結晶がその中心部を形成する結晶3とそれを同心状に取り囲む周辺部を形成する結晶3, 4からなるヘテロ接合構造を有し、かつ中心部のバンドエネルギーの値が周辺部のバンドエネルギーの値より小さく、さらに中心部の結晶のキャリア濃度が最外周辺部の結晶5のキャリア濃度より小さい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板結晶上にエピタキシャル成長させた針状の半導体結晶であって、該針状結晶がその中心部を形成する結晶とそれを同心状に取り囲む周辺部を形成する結晶からなるヘテロ接合構造を有し、かつ中心部のバンドエネルギーの値が周辺部のバンドエネルギーの値より小さく、さらに中心部の結晶のキャリア濃度が最外周辺部の結晶のキャリア濃度より小さいことを特徴とする量子細線構造。

【請求項2】 前記針状結晶にその成長方向と平行に電流を流すための一対の電極を有することを特徴とする請求項1に記載の量子細線構造。

【請求項3】 前記一対の電極の一方は前記半導体基板結晶の前記針状結晶成長面と反対側の表面に設けられ、他方の電極は一方の面において前記針状結晶と接する第2の半導体結晶の他方の面に設けられており、さらに前記半導体基板結晶の表面より成長し前記第2の半導体結晶基板に接する複数の支持用結晶層を有することを特徴とする請求項2に記載の量子細線構造。

【請求項4】 前記一対の電極の一方は前記半導体基板結晶の前記針状結晶成長面と反対側の表面に設けられ、前記針状結晶はその頂部を残して絶縁性樹脂で覆われており、さらに該絶縁性樹脂の表面には前記針状結晶の頂部に接して他方の電極が形成されていることを特徴とする請求項2に記載の量子細線構造。

【請求項5】 導電性半導体基板に酸化物被膜を形成し、かつ該被膜の所定の部分をエッチング除去して窓を形成する工程と、前記基板表面に成長させるべき針状半導体結晶の構成元素と合金化し得る金属膜を前記窓内に被着する工程と、前記基板表面に前記針状半導体結晶の構成元素を含むガスを供給して前記構成元素と前記金属との合金液滴を形成し、かつ気相成長法によって該合金液滴の底部から前記針状半導体結晶を前記基板表面にエピタキシャル成長させる工程と、前記針状半導体結晶の周囲にバンドエネルギーの値が該針状半導体結晶のバンドエネルギーの値より大きい第2の半導体層を被着する工程と、該第2の半導体層の周囲にキャリア濃度の値が前記針状結晶のキャリア濃度の値より大きい第3の半導体層を被着する工程を有することを特徴とする量子細線構造の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は半導体結晶における電子、あるいは正孔の移動に関して低次元構造の素子をつくるための量子細線構造に関する。本発明は小型で高性能な半導体素子の作製に利用可能である。

【0002】

【従来の技術】本発明は半導体結晶におけるキャリアである電子と正孔の両方に対して、同じ用に適用できるものであるが、通常の素子では電子の挙動が重要であるた

め、おもに電子の場合について示す。

【0003】電子の動きの自由度は、一般的な三次元的動きから二次元、一次元と低次元化することにより、電子の状態密度は離散的になり、いわゆる量子効果が顕著になる。高純度結晶中で二次元的な挙動をする電子は、イオン散乱あるいは格子散乱による電子移動速度の低下が極めて小さいため、高速の電子素子に應用されている。例えば、MOS構造における反転層中の電子、あるいはHEMTと呼ばれるn形AlGaAsと高純度GaAsとのヘテロ接合界面(GaAs側)に形成される二次元電子ガスを利用した電界効果トランジスタが、通常の電界効果トランジスタよりトランスコンダクタンスが高いことがよく知られている。これらは10~20nmの結晶界面に電子が二次元的に閉じ込められたものである。さらに低次元化、すなわち一次元化することにより高速の電子素子の可能性があるが、まだ一次元化した効果を実証した素子は実現されていない。

【0004】一次元化するために以下に示すような方法が試みられており、詳細は例えば、神谷武志編：丸善株式会社出版；光情報材料（昭和63年12月28日発行）110~113ページに述べられている。そこでは、おもに以下の3手法が説明されている。

【0005】（1）二次元電子ガスが生じる構造のウエハに対してリソグラフィとエッチング技術を用いて極微細線をつくる。

【0006】（2）結晶の異方性エッチングを用いて、予め二次元電子ガスを生じる構造の結晶を三角形あるいは尖頭形に形成しその頂点部に細線構造を形成する。

【0007】（3）低指数面から僅かに傾きたいわゆるヴィシナル面に二次元的にヘテロ成長を行うと、成長ステップの位置でヘテロ構造が変化するため細線構造ができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述した（1）および（2）の作製法では、まず電子が二次元的な挙動を示す構造を造った後に、一次元化するもので、加工精度は10nm程度以下でないと、一次元の効果が再現性よく現れるとはいえない。このような加工技術は既存のリソグラフィ技術では困難である。（3）の作製法でも、基板の低指数面からの傾きを精度よく加工しておかねばならないだけでなく、基板面の平坦性が原子オーダーでないと実現できない。また結晶成長中に形成されるステップの生成頻度を制御することは現実的には困難である。このような理由によって一次元化した効果を実証した素子はこれまで実現されていない。

【0009】本発明は上記のような加工によって細線を形成することによる欠点をさけるため、成長した結晶が極めて細い形態をもつ針状結晶であって、その結晶自体がas-grownの状態で、一次元的性質を示す構造およびかかる構造を作製する方法を提供することを目

的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明による量子細線構造は、半導体基板結晶上にエピタキシャル成長させた針状の半導体結晶であって、該針状結晶がその中心部を形成する結晶とそれを同心状に取り囲む周辺部を形成する結晶からなるヘテロ接合構造を有し、かつ中心部のバンドエネルギーの値が周辺部のバンドエネルギーの値より小さく、さらに中心部の結晶のキャリア濃度が最外周辺部の結晶のキャリア濃度より小さいことを特徴とする。

【0011】さらにこの量子細線構造は、上述した針状結晶にその成長方向と平行に電流を流すための一対の電極を有することを特徴とする。

【0012】本発明による作製方法は、導電性半導体基板に酸化物を被膜を形成し、かつ該被膜の所定の部分をエッチング除去して窓を形成する工程と、前記基板表面に成長させるべき針状半導体結晶の構成元素と合金化し得る金属膜を前記窓内に被着する工程と、前記基板表面に前記針状半導体結晶の構成元素を含むガスを供給して前記構成元素と前記金属との合金液滴を形成し、かつ気相成長法によって該合金液滴の底部から前記針状半導体結晶を前記基板表面にエピタキシャル成長させる工程と、前記針状半導体結晶の周囲にバンドエネルギーの値が該針状半導体結晶のバンドエネルギーの値より大きい第2の半導体層を被着する工程と、該第2の半導体層の周囲にキャリア濃度の値が前記針状結晶のキャリア濃度の値より大きい第3の半導体層を被着する工程を有することを特徴とする。

【0013】

【作用】本発明においては、半導体結晶基板に成長させた針状結晶を量子細線構造とするので、極めて小型の量子効果素子を作ることができる。

【0014】

【実施例】以下に、本発明を図面に基づいて説明する。

【0015】実施例1

図1は、(100)方位をもつn形GaAs基板結晶8上に成長させた針状結晶1を示す斜視図、図2はその拡大断面図である。2は成長の第一段階で成長させたシリコンドープのn形GaAsであり、3は第二段階で成長させた高純度GaAs、4はノンドープAlGaAsである。5は、シリコンドープのn形AlGaAsである。ノンドープGaAs 3の断面径は約10nmであり、量子効果が期待できる細さである。6は酸化珪素マスクであり厚さは2μmである。7は酸化珪素マスクに開けた窓の部分を示し、この窓の基板面が露出した箇所に針状結晶を成長させる。

【0016】図3は、図2に示した構造の製作工程を示す。まず図3(a)のように厚さ2μmの酸化珪素の膜6をGaAs基板8の表面に形成した後フォトリソグラ

フィーにより直径0.2μmの窓7を形成する。次に、この基板を蒸着装置に入れ、100nmの厚みに金膜9を蒸着により形成する(図3(b))。このあと結晶成長工程に入るが、本例では、有機金属と水素化合物を原料とするMOVPE法によった。すなわちGa源としてトリエチルガリウム(TEG)、Al源としてトリメチルアルミニウム(TMA)、ひ素源としてアルシン(AsH₃)を用いた。GaAsとAlGaAsに対するn形ドーパントとしてジシラン(Si₂H₆)を用いた。上記の酸化珪素マスク6をつけた基板8を水素(毎分3000cc)で希釈したアルシン(100%原料で50cc)雰囲気中で、まず350℃まで加熱すると金が基板のGaと反応し金-ガリウム合金の液滴10が窓7の中央部に形成される。液滴10の直径は蒸着膜の量で決まるが、本実施例では50nmであった。このとき、酸化珪素のマスク6上に付いた金は膜のままである。次にTEG(25cc)、Si₂H₆(5cc)を10分間流すと、液滴10にひ素がとけ込み過飽和状態になると液滴の底部から結晶化し始め、直径約30nmの細線状の結晶2が基板8に対してエピタキシャル成長する。この時の成長機構は針状結晶の成長でよく知られた、VLS機構(vapour-liquid-solid mechanism: アール・エス・ワグナー、シー・エリス著トランザクションメタラジカル ソサイエティエイアイエムイー 233巻1053-1064ページ、1964年(Trans. Metal. Soc. AIME 1964, vol. 233, pp. 1053-1064)によるものである。酸化珪素マスクの上の金属は、トリメチルガリウムと反応して、金-ガリウム液滴10Aとなる(図3(c))。液滴の下から成長した結晶の長さが約1.5μmとなると、針状結晶2の直径は、およそ10nmとなっているので、ここでジシランの供給を止め、ノンドープGaAsの成長をさらに5分間続けると、ノンドープGaAs結晶3の直径は余り変化せず液滴をのせたままさらに2μm成長する。ここでGaの供給を一旦停止し、アルシンのみを流して600℃まで加熱すると金-ガリウムの液滴は気化してなくなる。この温度に保ちながら、TEGとアルシン以外にさらにTMAを10cc加え、AlGaAs(ノンドープ)を5分成長させた後、ジシランを加えて10分成長させて、針状結晶の成長を終える。このようにして形成した針状結晶の断面は図3(d)で示すようになっている。2および3は350℃で金-ガリウム液滴の下で成長した針状の結晶であり、4はノンドープAlGaAsで厚みは20nm、5はシリコンドープのAlGaAsで厚みは100nmである。シリコンのドーパ量はGaAs, AlGaAsのそれぞれに対して10¹⁷cm⁻³とした。AlGaAsが針状結晶2の外周に成長しないのは、針状結晶2と、酸化珪素マスクの窓7の内側との隙間には原料となるトリメチルアルミニウム、トリメチル

ガリウムが充分に入らないため成長が起こらないためである。

【0017】このときの伝導帯エネルギーバンドは図4(a)に示すように、GaAsが周囲をAlGaAsで取り巻かれているので一次元的なポテンシャルの井戸が形成される。図4(b)は従来の二次元的なポテンシャル井戸であり、GaAs界面に形成された、くさび形の井戸に電子が閉じ込められ二次元的な振舞いをする事が知られている。

【0018】GaAlAsの電子の一部は中心のGaAsにトンネル効果によって入り込むが、GaAsはノン

ドープかつ高純度であるため、イオン散乱などの電子移動を妨げる障害がほとんど無く、高移動度の電子流が発生する。また、極めて細い量子井戸に閉じ込められるため、量子効果が得られる。

【0019】次に、このような針状結晶に電流を流す構造について作製例を示す。

【0020】実施例2

まず基板8に酸化珪素膜6を形成し、幅5 μ m、長さ20 μ mの窓11を形成する(図5(a))。次に、上記のMOVPE法により680 $^{\circ}$ C1時間、ノン

ドープGaAsを成長すると台形状の結晶が成長する(図5

(b))。この側面は結晶面A{111}をもち、上底面は(100)面で基板面と平行である。成長部の高さは約3 μ mとなる。ここで一旦成長装置から取り出し、

フォトリソグラフィにより酸化珪素膜6に窓7を形成する(図5(c))。金膜を実施例1のように蒸着し、再び成長炉にいれ針状結晶を実施例1に述べた方法で成長させる(図5(d))。このとき台形状結晶12の側

面にも蒸着膜と結晶が堆積するが、針状結晶の成長条件では、台形状結晶の表面には0.2 μ m程度の多結晶が成長するにすぎない。針状結晶を台形結晶とほぼ同じ高

さに成長させた後、再度、成長炉より取り出し、基板8の上に第二のn形基板13をかぶせて、台形状結晶12

の上底面に接触させて、ノンドープAlGaAs4とシリコンドープAlGaAs5を成長させると、針状結晶

の表面と台形状結晶の表面に成長が起こり、シリコンドープAlGaAsの先端は第二の基板の底面に接触する(図5(e))。さらに成長を継続すると、一種の毛管

現象によってこの接触部と台形状結晶の終端部の成長速度が大きく、図6の14に示すような形状となり強固な接合ができる。基板の裏面と、第二の基板の上面に図7

の15のようなn形電極(Au-Sn合金)を形成して電流を流すと、台形状結晶はノンドープで高抵抗とな

っているため針状結晶にのみ電流が流れるが、針状結晶は図4(a)のようなポテンシャル構造を持つため中心部のGaAsにのみ量子化された電子流が発生する。台形

状結晶は数百 μ m間隔で成長させることが好ましい。一方の辺の長さを数十 μ m程度と長くしてもよい。なお、台形状結晶を成長させるとき酸素あるいはクロムなどG

aAs結晶において、深いエネルギー準位を形成する元素を10¹¹/cm³程度ドーピングすると、GaAsは高抵抗となり、針状結晶に効果的に電流を流すことができる。

【0021】実施例3

針状結晶を図3(d)に示した状態まで成長させた状態で成長炉から取り出し、熱硬化性樹脂、例えばポリイミドを図8のように塗布、硬化させて針状結晶の尖頭部のみがポリイミド膜16から出るようにする。この後、全面にAu-Sn合金膜を蒸着し350 $^{\circ}$ C1分間アニールすると針状結晶の先端部にn形電極15が形成される。基板裏面にも同様の電極15を形成することにより、針状結晶に電流を流すことができる。

【0022】なお、上記の実施例から容易に類推できるように、基板としては導電性半導体結晶であればよくシリコン、ゲルマニウム、インジウム燐、ガリウム燐、インジウムアンチモンなどを用いることができる。本実施例ではGaAs結晶基板にGaAsの針状結晶を成長させるというホモエピタキシの場合を述べたが、基板がInPであり針状結晶はGaAsというような、ヘテロエピタキシャル成長であってもよい。さらにキャリアに対するポテンシャルの井戸が針状結晶の中心部に形成されればよいのであるから、中央部はGaAsのとき周囲部はInGaPでもよい。シリコンの針状結晶のとき周囲に酸化珪素膜を堆積すればMOSトランジスタが二次元的なキャリアを制御するのに対して、本発明を適用すれば中心のシリコンには一次元電子が誘起されるのは、上記の実施例から容易に類推できる。

【0023】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば極めて小型の量子効果素子をつくることが可能となる。量子効果を発現させる部分は何ら加工を施す必要が無いため、加工歪などによるキャリアの散乱がなく、高いキャリア移動度とトランスコンダクタンスが期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る針状結晶の斜視図である。

【図2】針状結晶の拡大断面図である。

【図3】針状結晶の作製工程を示す断面図である。

【図4】針状結晶の伝導帯エネルギーの説明図である。

【図5】針状結晶に電流を流す構造をつくる工程を示す断面図である。

【図6】結晶が接合される様子を示した断面図である。

【図7】電極を形成した量子細線構造の断面図である。

【図8】樹脂で針状結晶を埋込み、電極を形成した量子細線構造の断面図である。

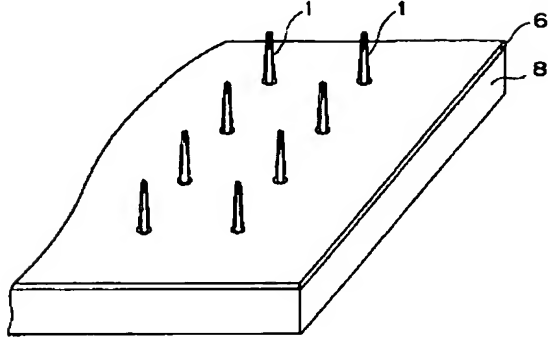
【符号の説明】

- 1 エピタキシャル成長した針状結晶
- 2 シリコンドープのガリウムヒ素結晶
- 3 ノンドープのガリウムヒ素針状結晶
- 4 ノンドープのアルミニウムガリウムヒ素

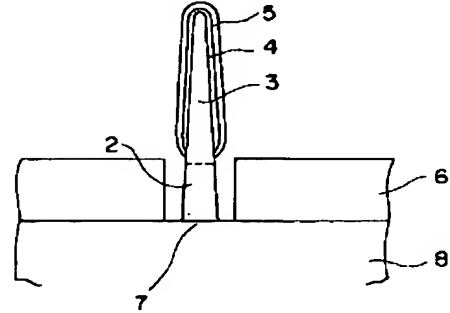
- 7
5 シリコンドープのアルミニウムひ素
6 酸化珪素膜
7 酸化珪素膜に形成した窓
8 n形ガリウムひ素基板
9 蒸着した金膜
10 金-ガリウム液滴
11 酸化珪素膜に形成した窓 (接合用)

- 1 2 台形状結晶
1 3 針状結晶に電流を流すために接合する第二のn形
ガリウムひ素基板
1 4 接触部分に優先的に成長した結晶
1 5 金-錫合金によるn形電極
1 6 ポリイミド埋込み層

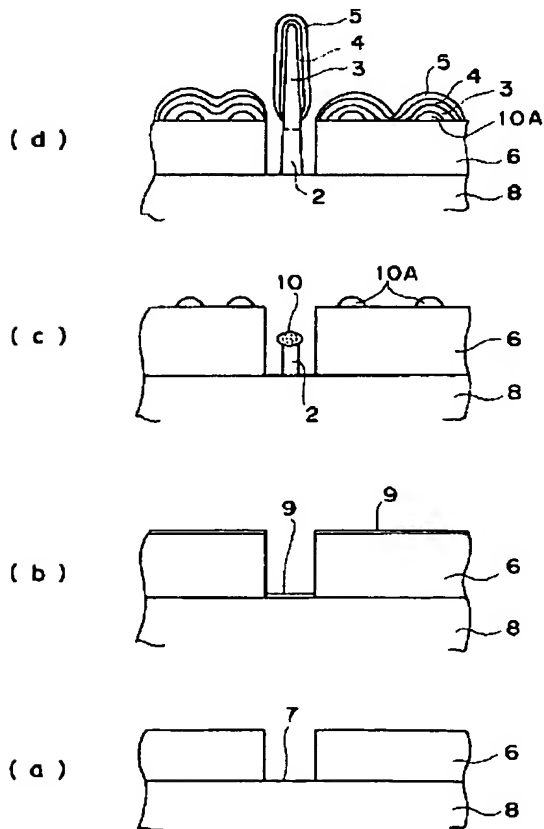
【図1】



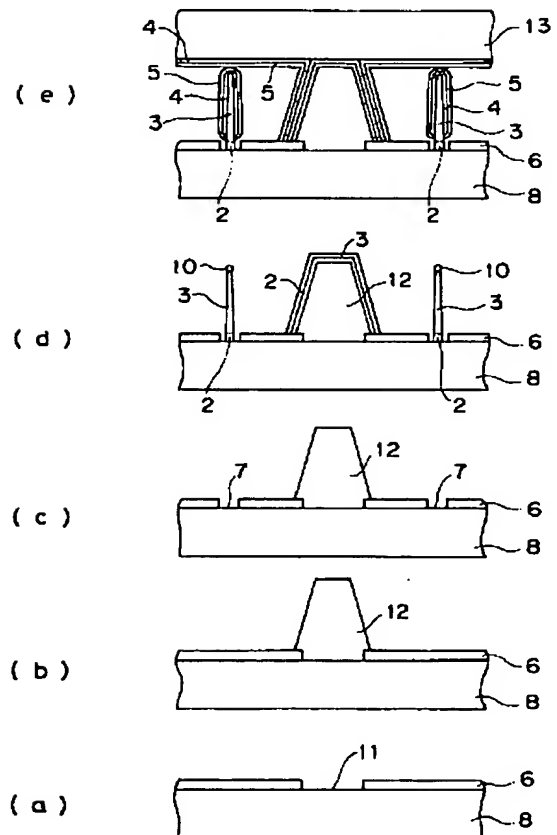
【図2】



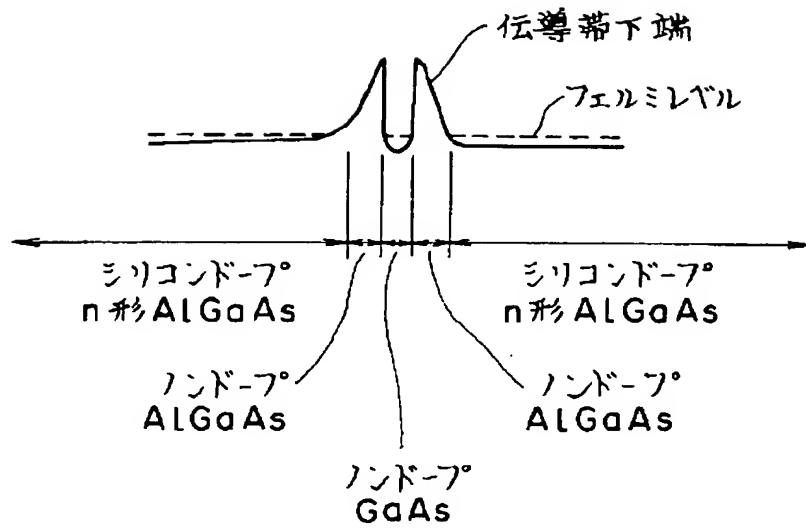
【図3】



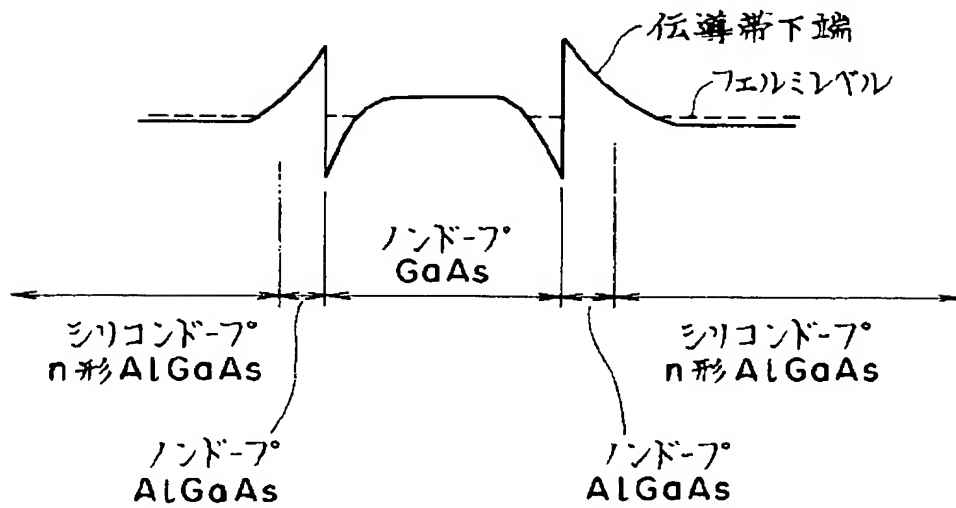
【図5】



【図4】

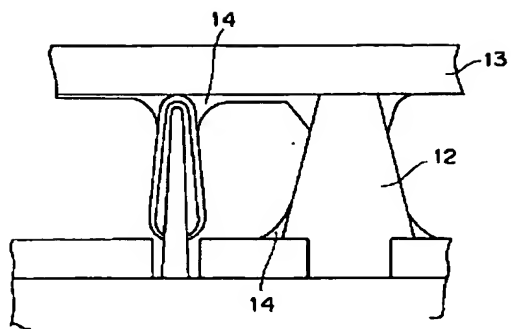


(a)

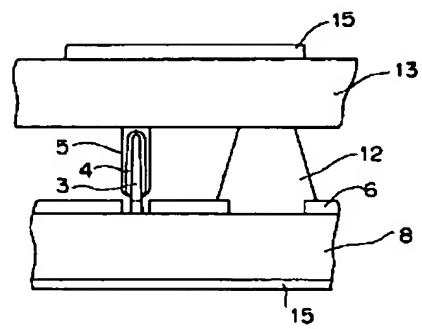


(b)

【図6】



【図7】



【図8】

